

OPTICAL COUPLING METHOD

Patent Number: JP60061707

Publication date: 1985-04-09

Inventor(s): KOUNO KENJI; others: 02

Applicant(s):: NIPPON DENSHIN DENWA KOSHA

Requested Patent: JP60061707

Application Number: JP19830169383 19830916

Priority Number(s):

IPC Classification: G02B6/42

EC Classification:

Equivalents: JP1844441C, JP5044643B

Abstract

PURPOSE: To reduce an allowable axial shift quantity by a small number of lenses, and to raise a reliability and a productivity by stopping down a converging or diverging light emitted from the first lens, into a light incident element formed as one body with the second lens.

CONSTITUTION: A spherical lens and a focusing type rod lens are used for the first lens 4 and the second lens 9, respectively. A distance d0 between the first lens 4 and a light emitting surface 8 of an LD is made larger than a focal distance f1 of the first lens 4, and a slightly stopped-down light generated after emission from the lens 4 is stopped down, for instance, to an optical fiber 2 formed as one body with a rod lens 9 which is shorter than 1/4 pitch. A place to be adjusted is only the lens 9 + the optical fiber 2, and the productivity is raised remarkably. Also, a set shift of the lens 4 is comparatively small, therefore, the deterioration of a coupling efficiency caused by an angle shift which is left after correcting a position shift by moving the lens 9 + the optical fiber 2 in parallel is small, and when it is desired to correct, it is executed by inclining the lens 9 + the optical fiber 2.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

⑫ 公開特許公報 (A) 昭60-61707

⑬ Int.Cl.
G 02 B 6/42識別記号
7529-2H

⑭ 公開 昭和60年(1985)4月9日

審査請求 有 発明の数 1 (全 8 頁)

⑮ 発明の名称 光結合方法

⑯ 特 願 昭58-169383

⑰ 出 願 昭58(1983)9月16日

⑱ 発明者 河野 健治 武蔵野市緑町三丁目9番11号 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所内

⑲ 発明者 三富 伸 武蔵野市緑町三丁目9番11号 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所内

⑳ 発明者 狩野 正俊 横須賀市武一丁目2356番地 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所内

㉑ 出願人 日本電信電話公社

㉒ 代理人 弁理士 杉村 晓秀 外1名

明細書

1. 発明の名称 光結合方法

2. 特許請求の範囲

1. 光出射窓子、 f_1 レンズ、 f_2 レンズと一緒に化した光入射窓子をこの順序に配列し、前記光出射窓子と前記 f_1 レンズとの距離を前記 f_1 レンズの焦点距離よりも大きめに定めることにより、前記光出射窓子から出射した光線を前記 f_1 レンズ出射部に吸収または遮蔽させ、かつこの光線が前記光入射窓子の絶面に直角を結ぶように前記 f_2 レンズの位置を設定することにより、前記光出射窓子から出射した光線を前記入射窓子に入射させることを特徴とする光結合方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は光出射窓子からの光を光入射窓子へ効率よく結合させる操作性の良い光結合方法に関するものである。

半導体レーザから出射された光を单一モード光ファイバへ効率よく結合させる結合法として二つ

のレンズを用いて結合する(a)従来の共焦点結合レンズ系、三つのレンズを用いて結合する(b)は3レンズ分離式共焦点結合レンズ系がある。図1(a)および図2(b)は各々にそれぞれの結合系を示す。

図1(a)は前記(a)の方法を示し、半導体レーザ1と单一モード光ファイバ2との間に焦点距離の異なる二つのレンズ3, 4を配して半導体レーザ1からの光を光ファイバ2のコア5の入射端面に入射させている。また光ファイバ2の入射端面5に光ファイバのコア5と屈折率の近いガラス板7を貼ることにより入射端面5からの反射光を減少している。

図2(b)は図1(a)におけるレンズ系の構成を示している。図中8は半導体レーザの発光面、9は单一モード光ファイバの入射端面をそれぞれ示す。 f_1 レンズ6は半導体レーザの発光面8からほぼ f_1 レンズ6の焦点距離 f_1 だけ離れており、 f_2 レンズ8(焦点距離 f_2)と f_1 レンズ6との距離は両者の焦点距離の和($f_1 + f_2$)であり、光ファイバの入射端面の位置9は第2レンズ8と f_2

だけ含まれている。

このようなレンズ系をとると、半導体レーザの発光直径（スポットサイズ） φ_{w_0} はレンズ系の焦点距離の比 (f_0/f_1) だけ拡大され、光ファイバの入射面の位置 θ にスポットサイズの直径 φ_{w_0} が $\varphi_{w_0} = \varphi_{w_0} \times (f_0/f_1)$ の値を抱ぶ。そこで光ファイバの透波光ビームの直径を φ_{w_f} とするとき φ_f と φ_w がほぼ等しくなるよう f_0/f_1 を調べばよいことになる。

次に従来の共焦点複合レンズ系の傾斜特性について説明する。半導体レーザモジュールを作成するには、まずは1レンズ θ を位置合わせし、次に θ レンズ θ を合わせ、これらのレンズ系によるビーム合成でファイバとマッチングさせるので、 θ 1レンズ θ と θ レンズ θ にどうい1レンズ系を使用しても、光ファイバの固定精度は單一モード光ファイバ同志の接続特性と同様になる。

図8には、スポットサイズが1mmの半導体レーザと、5.5mmの単一モード光ファイバを用いた場合について、横軸に光ファイバ θ の光軸に

垂直な方向のずれ φ をとり、縦軸に結合効率 η をとつた図を示す。図8からわかるように、光ファイバ θ が光軸に垂直に約±5.5mmだけば1dBの結合損失が生じ、光軸に垂直な方向の許容傾斜度は小さく、厳しい固定精度が要求されることがわかる。

ところでスポットサイズの等しい二つのガウスビームの結合特性は

$$\eta(x, \theta) = \exp\left(-\frac{x^2}{w^2} - \frac{\pi^2 w^2}{\lambda^2} \theta^2\right) \quad (1)$$

で表わされる（参考文献 H. Saruwatari and K. Nawata, : Semiconductor fiber coupler : Appl. Optics, vol. 18, No. 11, PP. 1867 ~ 1868, 1979）。ここで x は光軸に垂直な方向の傾斜、 θ は二つのビームの角度ずれ。 w はガウスビームのスポットサイズ、 λ は半導体レーザの発振波長である。この式より w を大きくすると φ の許容傾斜度は大きくなるが、許容角度ずれ度は小さくなることがわかる。現在使用されている単一モード光ファイバの場合には、1dB劣

下の x 、 θ の値はそれぞれ約±5.5mm、約±5.5度となる。モジュール製作の際、通常、角度ずれは一度以内には抑えられるので、このスポットサイズを数倍大きくすれば単一モード光ファイバの光軸に垂直な方向における許容傾斜度がかなり大きくなることがわかる。

また図8には光ファイバ θ の光軸方向における傾斜度 φ を横軸に、結合損失 η を縦軸にとつた図を示す。約6.0mmの光軸方向のずれにより1dBの劣化が生じる。

ここでスポットサイズを大きくするため、 θ 2レンズ θ を光ファイバ θ と一体化した場合を考える。 θ 1レンズ θ により半導体レーザの約1mmのスポットサイズ w_0 は、レーザの発振波長 $\lambda = 1.064\text{ }\mu\text{m}$ 、 θ 1レンズ θ の焦点距離 $f_1 = 4.56\text{ }\mu\text{m}$ として、 $w_1 = \lambda f_1 / (\pi w_0)$ の関係式よりスポットサイズ $w_1 = 1.89\text{ }\mu\text{m}$ に変換される。この値を式(1)に代入すると、1dBの結合損失の増加に対する許容傾斜度、許容角度ずれ度 φ 、 θ はそれぞれ約±8.7度、約±8.6度となり、角度ずれが

極めてはしくなることがわかる。

また θ 1レンズ θ と半導体レーザ θ の光軸方向における固定精度が±1.0mm程度あると、 θ 2レンズ θ を通過したビームのウエストの位置は光軸方向で $(f_0/f_1)^2 \times (\pm 1.0) = \pm 3.60\text{ }\mu\text{m}$ 程度ばらつくので、 θ 2レンズ θ と光ファイバを一体化したのではこのずれを補正しきれない。

さらに角度ずれのない平行ビームが θ 2レンズ θ に入射するとその光軸上に段を抱ぶので、 θ 2レンズ θ の光軸と光ファイバ θ の光軸とを完全に同心にして一体化する必要があるが、これは現在の工作精度では困難である。

したがつて θ 2レンズ θ をそのまま光ファイバ θ に一体化したのでは高い結合効率は望めない。

図9は以上の欠点を除去するためにすでに提案されている前述の第2レンズ分離型共焦点複合レンズ系の構成例図である。 θ 1レンズ θ としては球レンズを用い、 θ 2レンズ θ としては二つの鏡筒形ロッドレンズ（以下、ロッドレンズと略す） θ 1, θ 2を用い、ロッドレンズ θ 2を光フ

アイバ 8 に留めさせている。図示例ではロッドレンズ 5 1, 5 2 のピッチ長はそれぞれの $(\frac{1}{6} - 1)$ であり、その和を $\frac{1}{6}$ ピッチとしている(ここで 0.5 ピッチとは点光斑を点光斑に結合するレンズの長さである)。ロッドレンズ 5 3 は光ファイバ 2 と接着剤等を用いて一体化してあり、光ファイバ 2 の位置合わせはロッドレンズ 5 3 と光ファイバ 2 とを固定した状態で行う。

図 6 図は図 5 図のレンズ系の構成を示している。このレンズ系の結合特性は、半導体レーザ 1 から出射され、図 1 レンズ 6 によりスポットサイズが φ_1 に変換された光斑が第 1 ロッドレンズ 5 1 のみを通過して生じた実像のスポットサイズ φ_{51} およびその位置と、光ファイバ 2 のコアからスポットサイズ φ_f の光斑が右からロッドレンズ 5 2 に入射した場合にできる虚像のスポットサイズ φ_{52} およびその位置により求められる。例えばスポットサイズ φ_1 の光斑が二つのロッドレンズ 5 1, 5 2 を通過して生じる光斑のスポットサイズ φ_{53} と φ_f とが一致する場合には、実像 φ_{51} :

と虚像 φ_{53} の大きさと位置が一致している。

図 6 図にはロッドレンズ 5 2 と一体化した光ファイバ 2 (以下レンズ 5 2 + 光ファイバ 2 と略す) の光軸に垂直な方向における轴ずれ量 ε を軸にとり、結合効率 η を縦軸にとった図を示す。二つのロッドレンズ 5 1, 5 2 のピッチ長をそれぞれ 0.06 ピッチ、0.18 ピッチとしたとき、 $\varphi_{51} = 13.0 \mu\text{m}$ となり、1 dB の損失増加を与える轴ずれ量 ε と角 α はそれぞれ約 $5.0 \mu\text{m}$ 、約 5.6 分となる。

また光軸方向におけるレンズ 5 2 + 光ファイバ 2 の轴ずれ量 ε と結合効率 η の関係を図 8 図に示す。図 8 図とは図 6 図を比較することにより光軸方向の許容轴ずれ量についても第 3 レンズ分割系は極めて良いことがわかる。第 3 レンズ分割系では 1 dB の結合損失増加を与える ε は約 $600 \mu\text{m}$ と極めてやるくなっている。

また図 8 レンズ分割系では、ロッドレンズ 5 3 が反射防止板の役目をし、光ファイバ 2 の端面 6 からの反射光を抑えるので、従来の共焦点系にお

ける光学研磨をしたガラス板 8 が必要でなくなつた。

前述のように、従来の共焦点系では光ファイバ 2 の許容轴ずれ量が小さいばかりでなく、反射防止の光学研磨ガラス板 8 が必要であり、これらの点を改良した第 3 レンズ分割系では、レンズの数が従来の共焦点系のものより一つ増加するという欠点がある。

さらに半導体レーザモジュールを製作する場合、従来の共焦点系ではレンズ 6 と光ファイバ 2 、第 3 レンズ分割系ではロッドレンズ 5 1 とレンズ 5 2 + 光ファイバ 2 の相互位置を調整する作業が必要である。この位置合わせの作業は難しく、半導体レーザモジュールの製作性を著しく低下していた。

本発明は第 1 レンズ出射端の収束または発散光斑を第 3 レンズと一体化した光入射端子に収り込むことを特徴とし、その目的は製作性が極めて良く、レンズの数も 2 個と少なく、許容轴ずれ量が極く、かつ反射光の少ない半導体レーザ光結合方

法を提供することにある。以下図面により本発明を詳細に説明する。

図 9 図(A)は本発明の一実施例図であり、図 9 図(B)はその原理図である。図 1 図、図 6 図と対応する部分には同一符号を付けている。図 1 レンズ 6 としては球レンズを、図 3 レンズ 9 としてロッドレンズを使用している。なお図 3 レンズ 9 としては球レンズを用いる場合には、レンズ 9 と光ファイバ 2 との間をあけねばならず、その間に光学研磨したガラス板、光学接着剤、マツテンゴオイル等を挿入するか、光ファイバ 2 の端面に反射防止膜を施す必要がある。以下、第 3 レンズ 9 と光ファイバ 2 を一体化したものをレンズ 9 + 光ファイバ 2 と略す。

図 9 図(A)、(B)の実施例は第 1 レンズ 6 と LD の発光面 8 との距離 d_0 を第 1 レンズ 6 の焦点距離 f_1 より大きくし、レンズ 6 出射端に生じた放り出しがみの光斑を、例えば $1/4$ ピッチより短いロッドレンズ 9 と一体化した光ファイバ 2 に収り込むものである。このレンズ系の結合特性は、スポット

サイズ φ_0 の半導体レーザ光を口1レンズ φ_1 により収束して作った突白のスポットサイズ φ_{01} およびその位置と、光ファイバのコア φ_2 からスポットサイズ φ_f の光 φ が右からレンズ φ_1 に入射した場合にできる直角のスポットサイズ φ_{f1} およびその位置とにより求められる。

半導体レーザ φ_1 の発光面 φ_0 と口1レンズ φ_1 との距離 d_0 は、直角のスポットサイズ φ_{f1} と直角のスポットサイズ φ_{01} を一致させる条件から、光 φ 行列(参考文献 H. Saruwatari and K. Nawa, : Semiconductor fiber coupler : Appl. Optics, vol. 18, N. 11, pp. 1867 ~ 1880, 1979)を用いて次式のように求められる。

$$d_0 = f_1 \left(1 + \sqrt{\left(\frac{\varphi_0}{\varphi_{f1}} \right)^2 + \left(\frac{\varphi_{01}}{d} \right)^2} \right) \quad (1)$$

例えば φ_1 レンズ φ_1 として焦点距離 f_1 が $f_1 = 0.50$ mmの鏡レンズを用い、レンズ φ_1 として0.10ピッチのロッドレンズを用いると、半導体レーザの発光波長 $\lambda = 1.0$ mm。半導体レーザ光

るから、直角は比較的容易である。

図8図には、レンズ φ_1 + 光ファイバの発光に直角な方向における角ずれ φ_0 を構成に、結合面 φ_1 を直角にとった図を示す。ここでレンズ φ_1 としては0.10ピッチのロッドレンズを仮定している。このとき 1dB の損失 φ_0 を与える角ずれ φ_0 と角度 φ_0 はそれぞれ約 0.0 mm。約 0.0 mmとなる。

また発光方向におけるレンズ φ_1 + 光ファイバの角ずれ φ_0 と結合面 φ_1 との距離を図8図に示す。 1dB の損失 φ_0 を与える φ_0 は約 0.80 mmとなる。このように許容角ずれ φ_0 は、レンズが一つ少ないにもかかわらず発光方向、光路直角直角な方向とも、口2レンズ分離系すなわち図6図のものと同程度であり、従来の共焦点系すなわち図1図のものより直めて直くなっている。

また本発明では口1レンズ φ_1 の発光方向における固定位置のため生じた図8レンズ φ_1 のピースクエスト φ_{01} の位置のはらつきは、口1レンズ φ_1 と図8レンズ φ_1 との距離を固定することにより、

のスポットサイズ $\varphi_0 = 1$ mm。直角のスポットサイズ $\varphi_{f1} = 1.0$ mmとして、式(1)より $d_0 = 0.01$ mmとなる。

本発明では、従来の共焦点系におけるレンズ φ_1 、図8レンズ分離系におけるレンズ φ_1 に対応したレンズ φ_1 は不適であり、レンズ φ_1 を封入した半導体レーザパッケージを用いた場合、図8図はレンズ φ_1 + 光ファイバのみであり、ミクニールの操作性が著しく向上する。またレンズ φ_1 の位置 φ_0 は比較的小さいので、レンズ φ_1 + 光ファイバを平行の直して位置ずれを矯正した後に取る対応すれば結合する結合面の下方は小さい。従来の共焦点系においてレンズ φ_1 と光ファイバを一体化した場合に比べて対応すれば結合面の下方が小さいのは、レンズ φ_1 出射部の光のスポットサイズが従来の共焦点系では 1.0 mm。本発明では 1.0 mmと $1/10$ 以下の大ささになるためである。なお前述の対応すれば矯正したい場合には、レンズ φ_1 + 光ファイバを避けねばよい。この場合にはスポットサイズが 1.0 mm程度の大ささであ

る場合に矯正できることを図示している。

さらに本発明では、図8レンズ φ_1 を光ファイバに一体化する切面をとつてるので、光ファイバ入射面では屈折角度が小さく屈折が少なくなる。このように、従来の共焦点系に必要であつた屈折防止のための光学面 φ_1 したガラス板 φ_1 が不要となつた。

以上の実例では、半導体レーザ φ_1 の発光面 φ_0 と口1レンズ φ_1 との距離 d_0 を、図1レンズ φ_1 の焦点距離 f_1 より大きくとり、図8レンズ φ_1 のピッチが $1/6$ ピッチより細い場合について述べた。しかしながら d_0 を f_1 より小さくとり、図8レンズ φ_1 のピッチ φ_0 を $1/6$ より細めにとることも可能である。この場合は、図1レンズ φ_1 を出射した光のスポットサイズ φ_{01} が直角のものとなり、光ファイバのコア φ_2 から図8レンズ φ_1 に入射して生じたスポットサイズ φ_{f1} が直角のものとなる。結合面 φ_1 はこの二つのスポットサイズの結合として計算できる。とのととの d_0 は次式から算出される。

$$a_0 = f_1 \left(1 - \sqrt{\left(\frac{w_0}{w_{f_0}} \right)^2 + \left(\frac{\pi w_0}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{1}{f_1} \right)^2} \right) \quad (1)$$

第10図は第7図の実施例におけるレンズ8の代わりに、レンズ4と同様の球レンズ10を用い、光ファイバ8の代わりに半導体レーザ11を用いた実施例図であり、光直接増幅器を実現できる。

第11図は第10図の実施例における半導体レーザ11の代わりに、光出射用の光ファイバ8を、球レンズ4の代わりにロンドレンズ18を用いた実施例図であり、光直接増幅器を実現できる。

なお第10図、第11図においては、球レンズ10と光入射用半導体レーザ11を固定治具を用いて一体化する。

第12図は第11図の実施例における球レンズ10の代わりに、ロンドレンズ8を用い、半導体レーザ11の代わりに光ファイバ8を用いた実施例図であり、光の受光回路を実現できる。

なお第11図、第12図において、光ファイバ12とロンドレンズ18を密着させてもよい。ま

た第11図の実施例において球レンズ10とロンドレンズ18を入れかえてもよい。

YIG球を用いたアイソレータ内蔵のLDモジュール(渡辺・杉江、昭和67年度電子通信学会光・電波部門全国大会816番)の場合、YIGは屈折率が高く、球レンズの焦点が球の中に入るので、第18図(A)に示すように、YIG球19から出射された光線は平行光線にならず、絞りぎみとなる。このため従来の共焦点系のレンズ構成はとれない。なお18図(A)において、15は磁石、16は偏光子である。

本発明では、屈折率の高いレンズを第1レンズとして使用しても、構成が可能となる。この場合の構成を第18図(B)に示す。これによりYIG球を用いたアイソレータの場合にも、操作性の改善と、第2レンズを一体化した光ファイバ8の許容曲率を大きくすることが可能となる。

以上説明したように、本発明の方法によれば、従来の共焦点系の同じレンズの代で、レンズの数が多い第2レンズ分割系と同程度の許容曲率は

が得られるので、信頼性の高い光結合装置を構成することができるとともに、その操作性が著しく向上する。

なお従来の共焦点系には必要であつた反射防止板が不要となる。

また本発明の方法を多モード光ファイバ用半導体レーザ結合装置の構成に適用することが可能で、その操作性の向上が期待できる。

6図面の簡単な説明

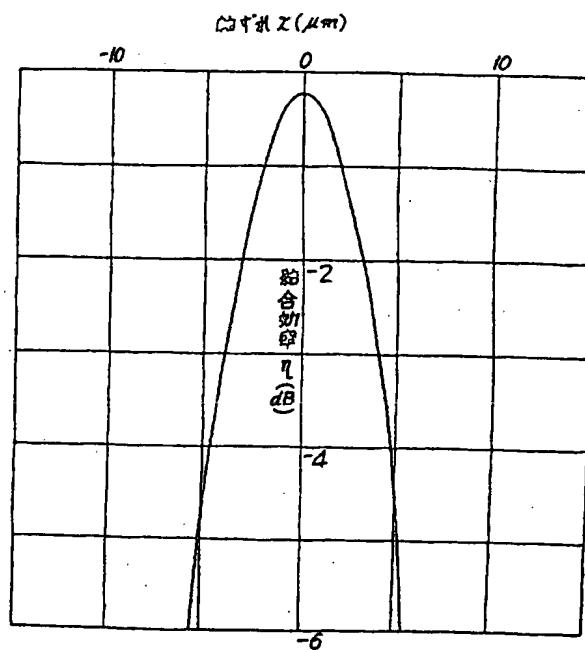
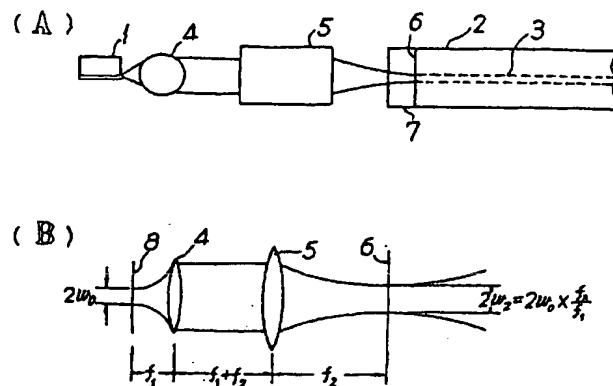
第1図(A)、(B)は従来の共焦点系複合レンズ系の構成例とその原理の説明図、第3図と第8図は従来の共焦点系について光轴に垂直な方向と光轴方向における轴ずれ特性を説明する図。第6図(A)、(B)は第2レンズ分割型共焦点複合レンズ系の構成例とその原理の説明図、第5図とは第3図は第2レンズ分割系について光轴に垂直な方向と光轴方向における轴ずれ特性を説明する図。第7図(A)、(B)は本発明の一実施例とその原理の説明図。第8図と第9図は光轴に垂直な方向と光轴方向における轴ずれ特性を説明する図。第10図、第11図、

第12図は本発明の他の実施例図。第18図(A)は従来のLDモジュールの構成図、第18図(B)は本発明を適用した場合のLDモジュールの構成図である。

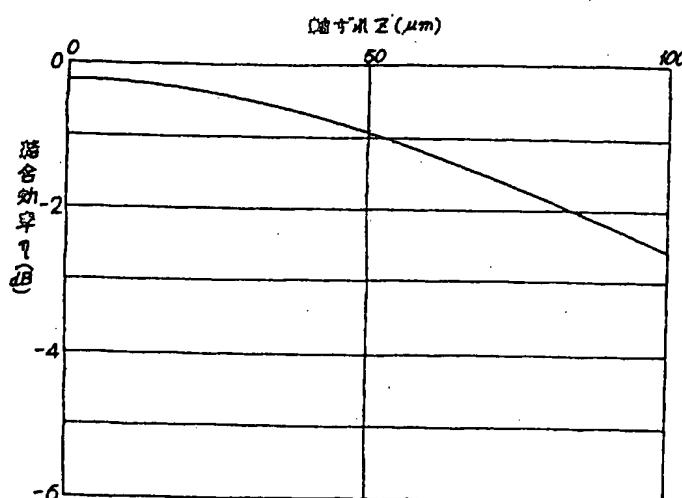
1…光出射用半導体レーザ、
2…光入射用光ファイバ、3…光ファイバのコア、
4…第1レンズ、5…従来の共焦点系における第2レンズ、6…第2レンズ分割系の第1集束形ロンドレンズ、62…第2レンズ分割系の第2集束形ロンドレンズ、8…光ファイバの端面、
9…反射防止板、B…半導体レーザの発光面、
B…本発明の一実施例における第2レンズ(集束形ロンドレンズ)、10…本発明の実施例における第2レンズ(球レンズ)、11…光入射用半導体レーザ(光結合部)、13…光出射用光ファイバ、18…本発明の実施例における第1レンズ、19…YIG球、15…磁石、16…偏光子。

第2図

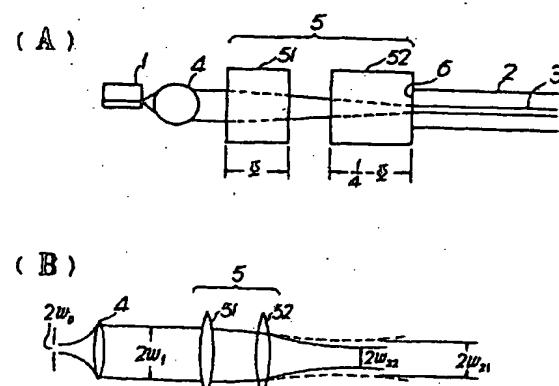
第1図



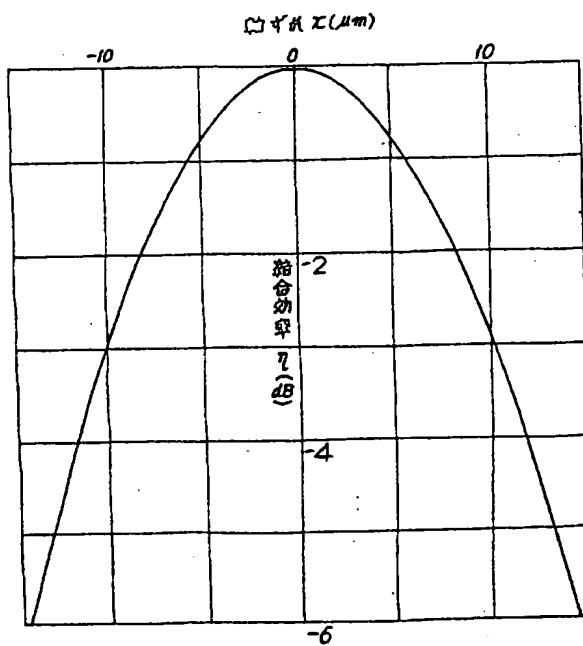
第3図



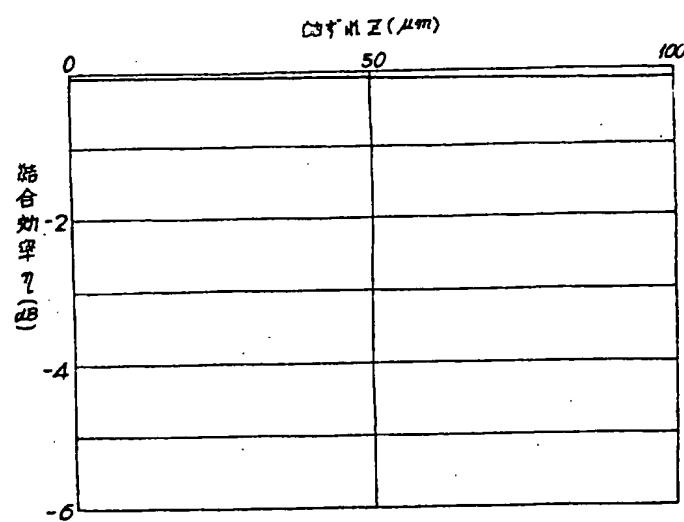
第4図



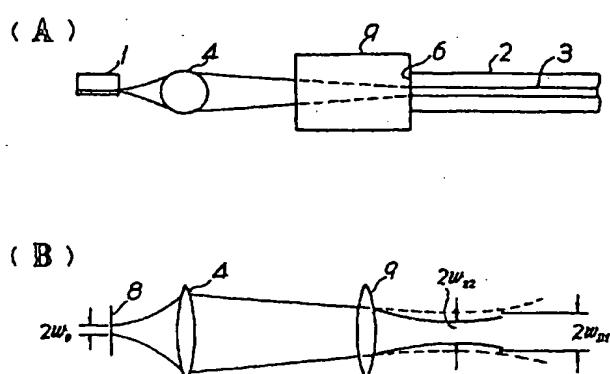
第 5 図



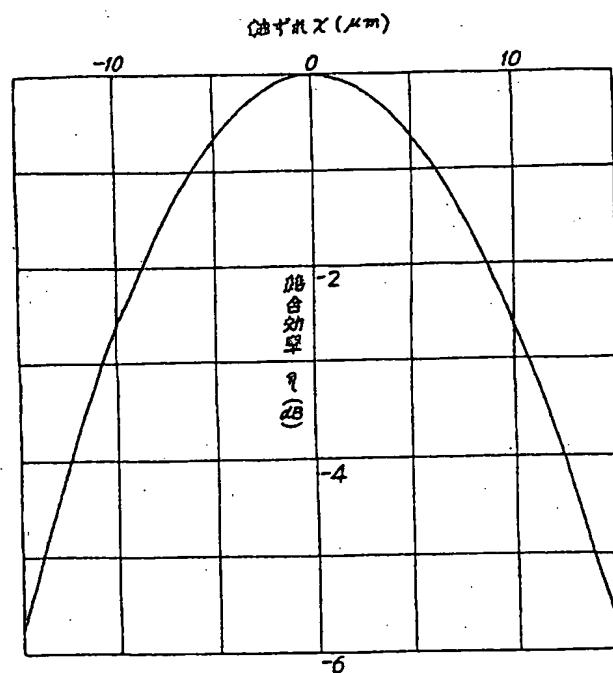
第 6 図



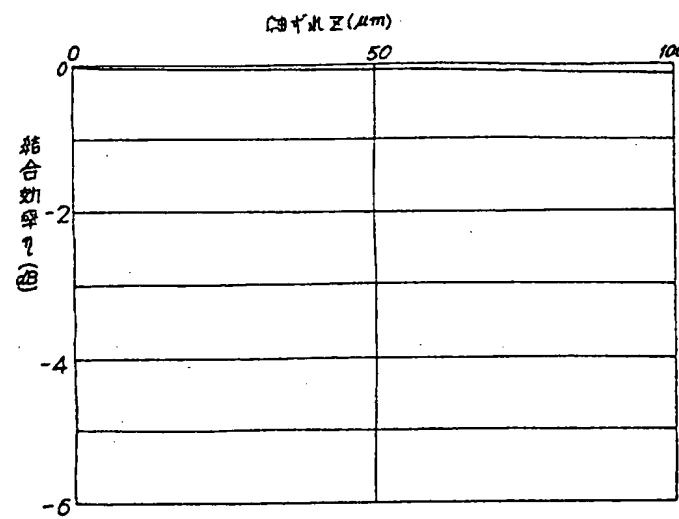
第 7 図



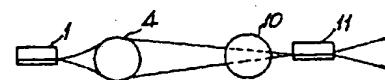
第 8 図



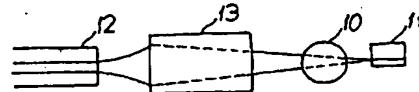
第9図



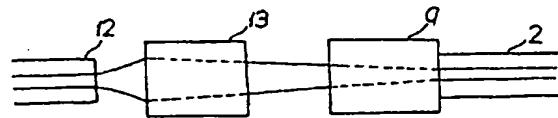
第10図



第11図



第12図



第13図

